

**А. Л. Урядова¹, Ф. В. Водолазский^{1*}, С. М. Илларионова¹,
Я. И. Космацкий², Е. А. Горностаева², Н. А. Баранникова¹,
А. Г. Илларионов¹**

¹ Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

² ОАО Российский научно-исследовательский институт
трубной промышленности, г. Челябинск

*f.v.vodolazskiy@urfu.ru

СТРУКТУРА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ СПЛАВА ПТ-1М ПОСЛЕ ЭКСПАНДИРОВАНИЯ

В работе изучено изменение макро- и микроструктуры в продольном, поперечном сечении трубной заготовки (гильзы) из сплава ПТ-1М после экспандирования. Показано, что экспандирование способствует измельчению макро- и микрозерна у внутренней поверхности и в центральной части гильзы за счет инициирования процессов рекристаллизации.

Ключевые слова: титановый сплав ПТ-1М, горячая деформация, макроструктура, микроструктура.

**A. L. Uryadova, F. V. Vodolazskiy, S. M. Illarionova, Ya. I. Kosmatskiy,
E. A. Gornostaeva, N. A. Barannikova, A. G. Illarionov**

STRUCTURE OF SHELL-BILLET FROM PT-1M ALLOY AFTER EXPANDING

In this paper the macro- and microstructure for the shell-billet from PT-1M alloy after expanding was studied. It was shown the expanding resulted to grain refinement near inner surface of the shell-billet due to the recrystallization.

Key words: titanium alloy PT-1M, hot deformation, macrostructure, microstructure.

Экспандирование — это операция расширения центрального отверстия в предварительно сверленной трубной заготовке с помощью наконечника иглы специальной формы на прошивных прессах, которая обеспечивает доводку размера и формы исходной заготовки до заданных размеров для последующего прессования передельной тру-

бы [1]. Экспандирование не требует подпрессовки заготовок и позволяет получать гильзы большей длины, чем при прошивке. В ходе экспандирования происходит горячая пластическая деформация, которая может привести к трансформации структуры и свойств по сечению исходной сверленной заготовки. В исследовании выявлено, что в горячекованой трубной заготовке из титанового α -сплава ПТ-1М, широко используемого для получения труб [2], возможно формирование не полностью проработанной по сечению макро-, микроструктуры, приводящих к характерному изменению твердости. В данной работе проведены исследования влияния операции экспандирования на структуру и свойства исследованной в научной работе трубной заготовки из сплава ПТ-1М.

Материалом исследования служил темплет, отрезанный от трубной заготовки из сплава ПТ-1М (Ti-0,4Al-0,08O, в мас. %), подвергнутой сверлению и экспандированию наконечником $\varnothing 86$ мм при температуре 850 °С на АО «Волжский трубный завод». Температура экспандирования выбиралась исходя из установленных в работе [3] температурных зависимостей энергосиловых параметров деформирования горячекованой трубной заготовки из сплава ПТ-1М. Характерные размеры полученной при экспандировании гильзы: внешний диаметр — 189 мм, толщина стенки — 52 мм.

В работе использовали макроструктурный анализ (визуально с использованием метода шкал), и микроструктурный анализ с помощью микроскопа «OLYMPUS GX51». Анализ проводили на поперечном и продольном сечениях темплетов после травления макрошлифов в 15 %-ном растворе плавиковой кислоты и микрошлифов в водном растворе азотной и плавиковой кислот в соотношении 1 часть HF + 3 части HNO₃ + 5 частей H₂O.

Макроструктура титанового сплава ПТ-1М после экспандирования приведена на рис. 1 и представляет собой преимущественно равноосные зерна. Вблизи внутренней и внешней поверхности макрозерна более мелкие и имеют балл 2–3, а в остальном объеме темплета фиксируются более крупные макрозерна до 6–7-го балла в соответствии с оценкой по 10-ти бальной шкале макроструктуры титановых сплавов [4].

Сопоставление полученных результатов показывает, что экспандирование привело к некоторому измельчению макрозерна в основном объеме заготовки (балл макрозерна снизился с 9–10 до 6–7), существенному измельчению макрозерна у внутренней поверхности (балл макрозерна снизился с 9–10 до 2–3) и практически не повлияло на размер макрозерна у внешней поверхности.

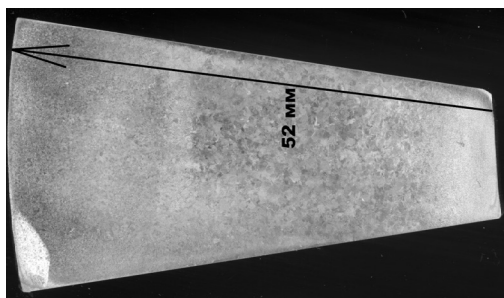


Рис. 1. Макроструктура темплета после экспандирования в поперечном сечении

Наблюдаемый эффект связан с развитием процессов первичной рекристаллизации в ходе экспандирования. В пользу этого говорит тот факт, что температура экспандирования $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышает температуру конца рекристаллизации технического титана ВТ1–0 [6], который незначительно отличается по составу от ПТ-1М, и значит на процесс пластической деформации в ходе экспандирования должны накладываться рекристаллизационные процессы, что и фиксируется. При экспандировании наибольшую степень деформации испытывает внутренняя поверхность заготовки и в ней формируется минимальный размер зерна. По мере удаления от внутренней поверхности степень деформации уменьшается и эффект измельчения за счет рекристаллизации тоже.

Анализ микроструктур в продольном и поперечном сечении экспандированной гильзы (рис. 2) показал, что внешняя поверхность и центр имеет равноосную зеренную структуру. Микроструктуру оценивали по 9-ти бальной шкале микроструктур однофазных титановых α -сплавов [7]. Внешняя поверхность представляет собой рекристаллизованные зерна размером примерно 250 мкм (балл 3), внутри зерен в поперечном направлении наблюдаются двойники отжига. В центре гильзы наблюдается грубая перистая структура, размер отдельных зерен составляет порядка 1 мм (балл 6).

Во внутренней поверхности в продольном направлении наблюдается перистая структура, вытянутая под углом 45° . Толщина пластин может достигать более 500 мкм , а длина более 2 мм (балл 5–6). Встречаются отдельные рекристаллизованные зерна, внутри которых находятся двойники отжига. Во внутренней поверхности в поперечном направлении также наблюдается перистая структура с размером зерна примерно 500 мкм (балл 5), внутри которых находятся двойники отжига.

На основании проведенных исследований установлено, что экспандирование при $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ трубной заготовки из сплава ПТ-1 М приводит к измельчению макро-, микрзерна в центральной области и особен-

но вблизи внутренней поверхности за счет развития процессов рекристаллизации.

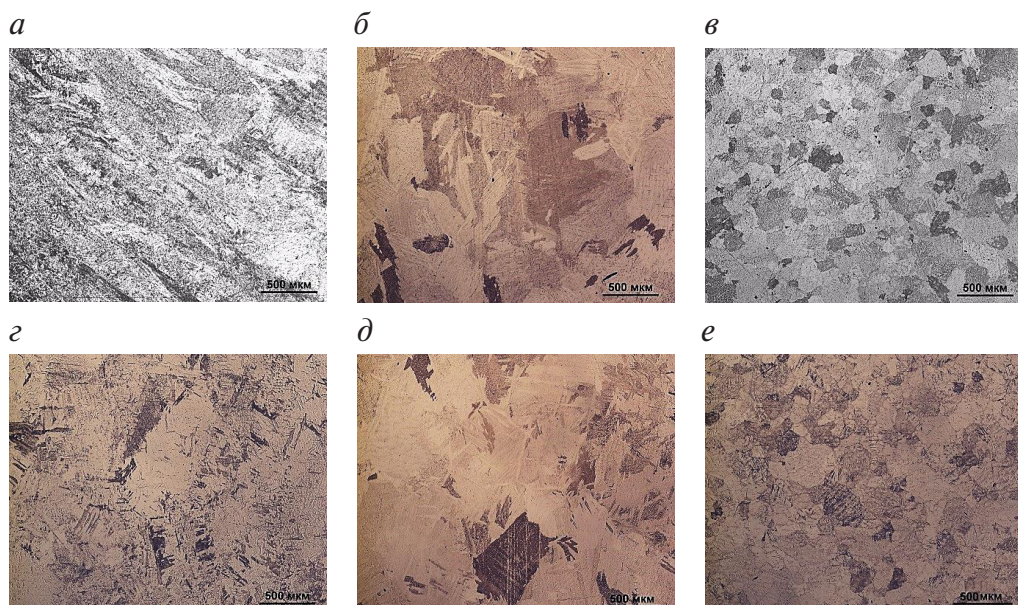


Рис. 2. Микроструктура гильзы из сплава ПТ-1М в продольном сечении:

а, г) внутренняя поверхность; б, д) центр; в, е) внешняя поверхность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10107).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Баричко Б. В., Космацкий Я. И., Панова К. Ю. Технология процессов прессования : учебное пособие. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 70 с.
- 2 Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М. : ВИС—МАТИ, 2009. 520 с.
- 3 Космацкий Я. И. Исследование деформационной способности трубной заготовки из титанового сплава марки ПТ-1 М / Я. И. Космацкий, Н. В. Фокин, Е. А. Филяева, Б. В. Баричко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. 2017. Т. 17. № 4. С. 83—91.
- 4 Титановые сплавы. Metallography of titanium alloys / Под ред. С. Г. Глазунова, Б. А. Колачева. М. : Metallurgy, 1980. 464 с.
- 5 Oliver W. C., Pharr G. M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // Journal Materials Research. 1992. V.7. № 6. P.1564—1583.
- 6 Глазунов С. Г., Моисеев В. Н. Конструкционные титановые сплавы. М. : Metallurgy, 1974. 368 с.
- 7 Горячая штамповка и прессование титановых сплавов / Л. А. Никольский, С. З. Фиглин, В. В. Бойцов, Ю. Г. Калпин, А. В. Бахарев. М. : Машиностроение, 1975. 285 с.